

## **Kłopotliwe przypadki stosowania wyłączników różnicowoprądowych**

### **1. Wstęp**

Od kilku lat wyłączniki różnicowoprądowe są w Polsce stosowane na szerszą skalę. Ten doskonały przyrząd ochronny ma też wady i z wszechstronnego rozpoznania jego właściwości wynikają reguły poprawnego stosowania. W przeciwnym razie - obliczone na szybki profit lub spektakularne efekty techniczne - naciski na przesadne stosowanie wyłączników różnicowoprądowych w warunkach najmniej ku temu odpowiednich bądź na nieuzasadnione preferowanie wyłączników najczulszych, mogą dać na dłuższą metę efekt przeciwny do zamierzonego. Mogą użytkowników zniechęcać do przyrządów wywołujących częste a niepotrzebne przerwy w zasilaniu bez widocznego powodu bądź dopuszczających do groźnego porażenia mimo formalnego dopełnienia stawianych wymagań przepisowych.

Referat przedstawia kilka problemów najczęściej wysuwanych przez uczestników prelekcji i spotkań poświęconych stosowaniu wyłączników różnicowoprądowych.

### **2. Wyłączniki różnicowoprądowe w układzie TN**

Samoczynnego wyłączenia zasilania przy pierwszym zwarciu doziemnym - dla celów ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej - mogą w układzie TN i tylko w układzie TN dokonywać zabezpieczenia nadprądowe; na tym polega zerowanie. Można też w tej roli użyć wyłączników różnicowoprądowych, które są równoprawnym urządzeniem zabezpieczającym [3], o nieporównanie większej czułości. Oczywiście w instalacji pozostają wtedy zabezpieczenia nadprądowe, niezbędne chociażby dla zabezpieczenia obwodu przed cieplnymi skutkami prądów zwarciovych. Sytuacja taka bywa mylnie interpretowana w ten sposób, że obowiązek samoczynnego wyłączenia zasilania dla celów ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej spoczywa na zabezpieczeniu nadprądowym, a wyłącznik różnicowoprądowy - koniecznie wysokoczuły - pełni tylko rolę ochrony uzupełniającej.

Dzięki temu, że w układzie TN prąd zwarcia L-PE jest duży, porównywalny z prądem zwarcia trójfazowego, można zabezpieczenie nadprądowe obarczyć obowiązkiem wyłączenia zasilania w przypadku, gdyby wyłącznik różnicowoprądowy zawiódł. Zważywszy, że intensywność uszkodzeń wyłączników różnicowoprądowych jest wielokrotnie większa niż intensywność uszkodzeń wyłączników nadprądowych i - tym bardziej - bezpieczników, ma to kapitalne znaczenie dla niezawodności ochrony przeciwporażeniowej. Należy zatem wymagać spełnienia warunków skuteczności zerowania mimo obecności wyłącznika różnicowoprądowego w obwodzie. Zatem w obwodzie o napięciu fazowym  $U_o$  przy impedancji pętli zwarcia L-PE równej  $Z_s$  znany warunek

$$\frac{U_o}{Z_s} \geq I_a \quad (1)$$

powinien być spełniony również dla prądu wyłączającego  $I_a$  zabezpieczenia nadprądowego. Skoro przy zwarciach L-PE zabezpieczenie nadprądowe będzie interweniowało wyjątkowo, w razie uszkodzenia wyłącznika różnicowoprądowego, można przyjmując prąd wyłączający  $I_a$  dla czasu wyłączenia 5 s niezależnie od stopnia zagrożenia porażeniowego [4].

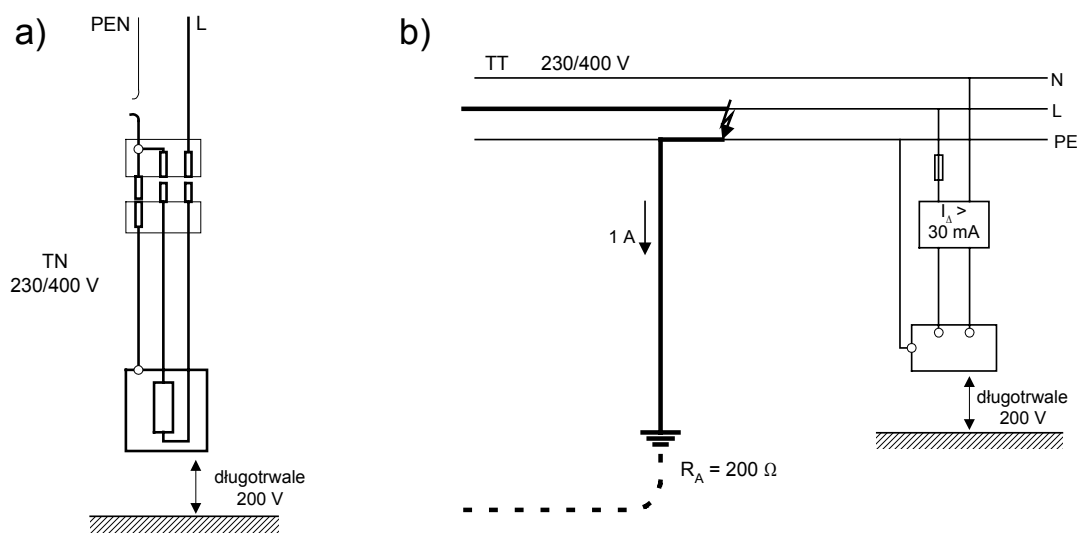
Zatem samoczynnego wyłączenia zasilania dla celów ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej z zasady dokonuje wyłącznik różnicowoprądowy w czasie nie przekraczającym 40 ms (wyłącznik bezzwłoczny), a tylko w razie jego uszkodzenia - zabezpieczenie nadprądowe, w czasie nie przekraczającym 5 s. Takie rezerwowanie wyłączników różnicowoprądowych jest możliwe tylko w układzie TN.

### 3. Zawodność systemów ochrony z wyłącznikami różnicowoprądowymi w układzie TT

Najprostszy sposób oceny zawodności układu ochrony polega na badaniu, jak zachowuje się on w razie wystąpienia jednego-dwóch-trzech możliwych i dość prawdopodobnych uszkodzeń. Zależnie od wyniku takiego badania formułuje się ocenę, czy układ ochrony spełnia odpowiednio kryterium (n-1), kryterium (n-2) albo kryterium (n-3), tzn. czy jest sprawny, czy zachowuje skuteczność mimo uszkodzenia jednego, dwóch albo trzech spośród  $n$  elementów istotnych dla skuteczności ochrony. W konwencji przyjętej w dokumentach IEC 364 określa się, czy układ ochrony spełnia odpowiednio *single-fault condition*, *double-fault condition*, *triple-fault condition*.

Skoro stosuje się ochronę przeciwporażeniową dodatkową, oznacza to, że nie akceptuje się zagrożenia porażeniem w razie wystąpienia pojedynczego uszkodzenia - uszkodzenia izolacji podstawowej. Tym samym żąda się spełnienia kryterium (n-1) i jest to najłagodniejsze wymaganie, jakie stawia się układom ochrony. W warunkach szczególnego zagrożenia nawet dwa dość prawdopodobne uszkodzenia nie powinny zagrażać ciężkim porażeniem, powinno być spełnione kryterium (n-2). Surowsze, kosztowne wymagania stawia się wyjątkowo.

Klasyczne zerowanie w układzie TN-C, w obwodach o małym przekroju przewodów, nie spełnia kryterium (n-1). Jedno, dość prawdopodobne uszkodzenie, przerwanie przewodu PEN w obwodzie jednofazowym (rys. 1a), powoduje wystąpienie pełnego napięcia fazowego na obudowie nieuszkodzonego urządzenia i to przez czas nieograniczony, bo nie są pobudzone żadne zabezpieczenia. Z tego powodu takie rozwiązanie ochrony już dawno zostało zarzucone w krajach Unii Europejskiej, a ostatnio również w Polsce.



Rys. 1. Przykłady rozwiązań ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej nie spełniających kryterium (n-1): a) zerowanie w obwodzie jednofazowym 230/400 V z przewodem PEN; b) wyłącznik różnicowoprądowy w obwodzie TT o napięciu 230/400 V

Niestety, podobną wadę może wykazywać rozwiązanie ochrony dziś uważane za panaceum. Zwarcie L-PE w układzie TT, w linii rozdzielczej nie chronionej wyłącznikiem różnicowoprądowym (rys. 1b) może sprawić, że napięcie dotykowe o wartości zbliżonej do napięcia fazowego pojawi się na częściach dostępnych urządzeń w obwodach odbiorczych chronionych choćby najczulszymi wyłącznikami różnicowoprądowymi, również urządzeń użytkowanych w warunkach szczególnego zagrożenia. W sytuacji z rys. 1b) chronione urządzenia są w nienagannym stanie, a wyłącznik jest w pełni sprawny. Takiego zagrożenia można uniknąć wyposażając w wyłączniki różnicowoprądowe również linie rozdzielcze i układając przewody w sposób eliminujący możliwość zwarcia L-PE przed wyłącznikiem. Wspomnianego zagrożenia nie ma w układzie TN, bo takie zwarcie zostałoby wyłączone przez zabezpieczenie nadprądowe.

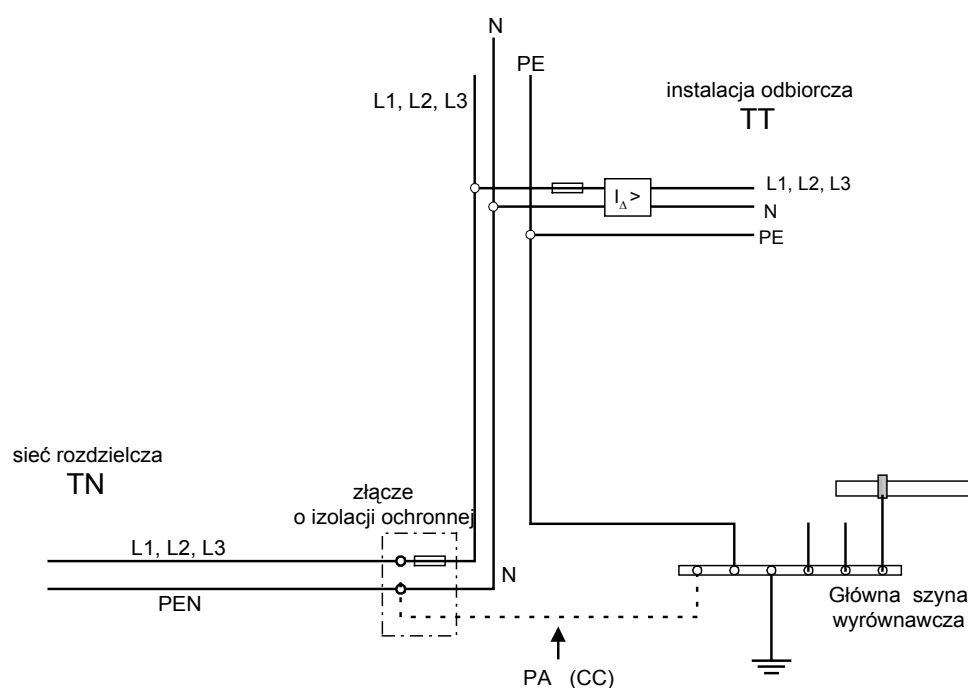
Jeśli natomiast zawiedzie wyłącznik różnicowoprądowy, to w układzie TT zwarcie L-PE w ob

wodzie odbiorczym nie zostanie wyłączone, a spodziewane napięcie dotykowe będzie miało wartość taką, jak na rys. 1b). To jeszcze jeden powód, by nie poprzestawać na jednym wyłączniku w torze zasilania. W podobnej sytuacji w układzie TN spodziewane napięcie dotykowe ma wartość 2÷4-krotnie mniejszą i utrzymuje się tylko do chwili zadziałania zabezpieczenia nadprądowego.

#### 4. Wyspa TT w układzie TN

Najwłaściwszym układem niskonapięciowej sieci rozdzielczej wspólnej jest układ TN [1]. Naturalną tego konsekwencją jest układ TN również w instalacjach odbiorczych przyłączonych do takiej sieci. Są jednak sytuacje, kiedy należałoby tego unikać ze względu na możliwość przeniesienia z zewnątrz przez przewód PEN niebezpiecznego napięcia dotykowego do instalacji odbiorczej. Idzie zwłaszcza o obiekty, w których występują warunki szczególnego zagrożenia porażeniem i dopuszczalne długotrwałe napięcie dotykowe  $U_L$  wynosi nie 50 V, lecz 25 V (np. gospodarstwa rolne z pomieszczeniami hodowli zwierząt i place budowy). Można wtedy stworzyć układ TT w instalacji zasilanej z sieci TN (rys. 2). W tym celu powinny być spełnione następujące warunki:

- w złączu przewód PEN układu TN traci funkcję przewodu ochronnego i dalej jest tylko przewodem neutralnym; nie wolno go przyłączać do części przewodzących dostępnych, części przewodzących obcych ani do szyny wyrównawczej,
- do samoczynnego wyłączenia zasilania w obrębie instalacji odbiorczej wolno użyć tylko wyłączniki różnicowoprądowe i do ich prądu wyłączającego  $I_{\Delta}$  należy dobrać rezystancję uziemienia przewodu ochronnego PE.



Rys. 2. Instalacja odbiorcza o układzie TT zasilana z sieci rozdzielczej TN (wyspa TT w układzie TN); w razie wykonania połączenia wyrównawczego przedstawionego linią przerywaną układ instalacji zmienia się na TN (TN-S)

Wyspa TT w podanym wykonaniu musi obejmować całą instalację odbiorczą, w żadnym razie nie może dotyczyć np. części budynku. Jest też możliwość utworzenia wyspy TT w części instalacji odbiorczej, ale tylko w odniesieniu do obwodu lub grupy obwodów zasilających urządzenia użytkowane poza zasięgiem oddziaływania głównych połączeń wyrównawczych, tzn. poza budynkiem ze złączem i/lub główną rozdzielnicą instalacji odbiorczej.

Odnośnie do wyspy TT stosuje się wszelkie zasady ochrony dotyczące układu TT, również uwagi i wnioski przedstawione w rozdz. 3 i 5 niniejszego referatu.

Często wysuwane wątpliwości, czy określony obwód jest obwodem TT czy TN łatwo rozstrząść. Jeśli prąd zwarcia L-PE ma obwód całkowicie metaliczny i dużą wartość, jest to układ TN. W przeciwnym razie występuje układ TT, w którym prąd zwarcia L-PE jest nieduży i płynie przez ziemię.

Przedstawione rozwiązanie jest jedynym możliwym przypadkiem koegzystencji dwóch układów w jednej galwanicznie połączonej sieci - układ TN od strony zasilania, a następnie układ TT. Nie jest do pomyślenia odwrócenie tej kolejności, a zatem za obwodem rozdzielczym TT nie można przywrócić układu TN. Wszelkie inne kombinacje TT-TN, TN-IT, IT-TN, TT-IT, IT-TT wymagają użycia transformatora izolacyjnego.

## 5. Rezystancja uziemienia wspólnego przewodu ochronnego wielu obwodów z wyłącznikami różnicowoprądowymi

Do przewodu ochronnego instalacji o układzie TT lub IT mogą być przyłączone części przewodzące dostępne wielu urządzeń chronionych wieloma wyłącznikami o różnych parametrach. Aby nie przekroczyć największej długotrwale dopuszczalnej wartości napięcia dotykowego  $U_L$ , rezystancja uziemienia przewodu ochronnego nie powinna przekraczać wartości wynikającej ze znanego wzoru

$$R_A = \frac{U_L}{I_a} \quad (2)$$

Jako prąd wyłączający  $I_a$  w pierwszym odruchu chciałoby się wpisać prąd wyłączający wyłącznika, który ma największą wartość tego parametru; uziemienie poprawnie zwymiarowane dla tego wyłącznika powinno być odpowiednie dla wszystkich pozostałych. Rozumowanie takie, poprawne w przypadku uziemień ochronnych (z wyłączaniem zwarcia doziemnego przez zabezpieczenie nadprądowe), w tym przypadku jest błędne. Obliczeniowy prąd zwarcia doziemnego, który ma pobudzać zabezpieczenia nadprądowe, może z określonej fazy płynąć do ziemi tylko w jednym miejscu. Natomiast prąd upływowy, który ma pobudzać zabezpieczenia różnicowoprądowe, może z określonej fazy płynąć do ziemi w wielu miejscach.

Tablica 1. Współczynniki do określania prądu wyłączającego grupy wyłączników różnicowoprądowych o wspólnym uziemieniu przewodu ochronnego [4]

Kolejny numer wyłącznika różnicowoprądowego	Współczynnik c
1	1
2	0,8
3	0,6
4	0,4
$\geq 5$	0,2

Prąd  $I_a$  we wzorze (2) jest największym prądem, jaki może długotrwale upływać do ziemi nie powodując samoczynnego wyłączenia chociażby niektórych obwodów. Jego wartość jest nie większa niż suma prądów wyłączających wszystkich wyłączników różnicowoprądowych przyłączonych „równolegle” na określonym stopniu zabezpieczeń do określonej fazy. Przyjmowanie takiej wartości zakładałoby, że w każdym obwodzie upływa do ziemi prąd równy największej dopuszczalnej wartości prądu niezadziałania wyłącznika i że wszystkie wyłączniki wykazują największą dopuszczalną górną odchyłkę rzeczywistego prądu zadziałania. W przypadku instalacji zawierającej kilkanaście i więcej wyłączników jest to nieprawdopodobne. Byłoby to założenie ostrzejsze niż przyjmowanie współczynnika jednoczesności  $k_j = 1$  przy obliczaniu szczytowych obciążeń.

Niejednoczesność największych możliwych długotrwałych prądów upływowych można uwzględnić w sposób przyjęty w projekcie przepisów [4]. Uwzględniając zasady sumowania prądów upływowych [2] bierze się pod uwagę wyłączniki różnicowoprądowe obwodów trójfazowych oraz obwodów jednofazowych określonej fazy, uszeregowane podług malejącego prądu wyłączającego, i

dodaje się te prądy pomnożone przez współczynnik  $c$  podany w tabl. 1. Otrzymuje się trzy wyniki, odpowiednio dla każdej z faz; wynik największy jest rozstrzygający. Postępowanie to najlepiej prześledzić na poniższych przykładach dotyczących zwykłych warunków środowiskowych ( $U_L = 50 \text{ V}$ ).

**Przykład 1.** Instalacja o układzie TT ma 60 obwodów odbiorczych trójfazowych wyposażonych w wyłączniki różnicowoprądowe  $I_{\Delta n} = 0,1 \text{ A}$ . Określić wymaganą rezystancję uziemienia wspólnego przewodu ochronnego.

Bez uwzględnienia niejednoczesności prądów upływowych wymagania byłyby niepotrzebnie zastrzone:

$$I_a = 60 \cdot 0,1 = 6 \text{ A} \quad R_A \leq 8 \Omega \quad (3)$$

Natomiast z uwzględnieniem niejednoczesności prądów upływowych otrzymuje się wynik:

$$I_a = 1 \cdot 0,1 + 0,8 \cdot 0,1 + 0,6 \cdot 0,1 + 0,4 \cdot 0,1 + \sum_5^{60} (0,2 \cdot 0,1) = 1,4 \text{ A} \quad R_A \leq 35 \Omega \quad (4)$$

Sposób obliczania byłby identyczny, gdyby wszystkie obwody były jednofazowe i zasilane z tej samej fazy.

**Przykład 2.** Instalacja o układzie TT ma 60 obwodów odbiorczych jednofazowych wyposażonych w wyłączniki różnicowoprądowe  $I_{\Delta n} = 0,1 \text{ A}$ . Do każdej z faz jest przyłączonych po 20 obwodów. Określić wymaganą rezystancję uziemienia wspólnego przewodu ochronnego.

Postępując analogicznie otrzymuje się wynik z dużym błędem w kierunku bezpiecznym:

$$I_a = 20 \cdot 0,1 = 2 \text{ A} \quad R_A \leq 25 \Omega \quad (5)$$

oraz wynik uwzględniający niejednoczesność prądów upływowych:

$$I_a = 1 \cdot 0,1 + 0,8 \cdot 0,1 + 0,6 \cdot 0,1 + 0,4 \cdot 0,1 + \sum_5^{20} (0,2 \cdot 0,1) = 0,6 \text{ A} \quad R_A \leq 83 \Omega \quad (6)$$

**Przykład 3.** Instalacja o układzie TT ma 12 obwodów wyposażonych w wyłączniki różnicowoprądowe, jak w poniższej tabelicy. Określić wymaganą rezystancję uziemienia wspólnego przewodu ochronnego.

Zasilanie obwodu	$I_{\Delta n}$ [A]	$c \cdot I_{\Delta n}$ [A]		
		L1	L2	L3
3-fazowe	0,3	0,300	0,300	0,300
3-fazowe	0,3	0,240	0,240	0,240
L3	0,3	---	---	0,180
L3	0,3	---	---	0,120
3-fazowe	0,1	0,060	0,060	0,020
3-fazowe	0,1	0,040	0,040	0,020
L1	0,1	0,020	---	---
L3	0,1	---	---	0,020
3-fazowe	0,03	0,006	0,006	0,006
3-fazowe	0,03	0,006	0,006	0,006
L2	0,03	---	0,006	---
L1	0,03	0,006	---	---
<b>R a z e m</b>		<b>0,678</b>	<b>0,658</b>	<b>0,912</b>

Prąd wyłączający obliczony z uwzględnieniem niejednoczesności prądów upływowych wypada największy dla fazy L3 i wynosi  $I_a = 0,912 \text{ A}$  (1,56 A bez uwzględnienia niejednoczesności). Zatem wymagana rezystancja uziemienia przewodu ochronnego wynosi  $R_A \leq 55 \Omega$  (32  $\Omega$  bez uwzględnienia

nia niejednoczesności prądów upływowych).

**Przykład 4.** W instalacji z przykładu 1 dodano główny wyłącznik różnicowoprądowy zwłoczny  $I_{\Delta n} = 0,5$  A zainstalowany na początku linii rozdzielczej zasilającej wszystkie wspomniane obwody odbiorcze. Określić wymaganą rezystancję uziemienia wspólnego przewodu ochronnego.

Wyłącznik główny o danych  $I_{\Delta n} = 0,5$  A,  $I_a = 2 \cdot 0,5 = 1$  A nie pozwala na długotrwały przepływ prądu upływowego o uprzednio obliczonej wartości. Wystarcza zatem rezystancja uziemienia przewodu ochronnego  $R_A \leq 50V/1A = 50 \Omega$ .

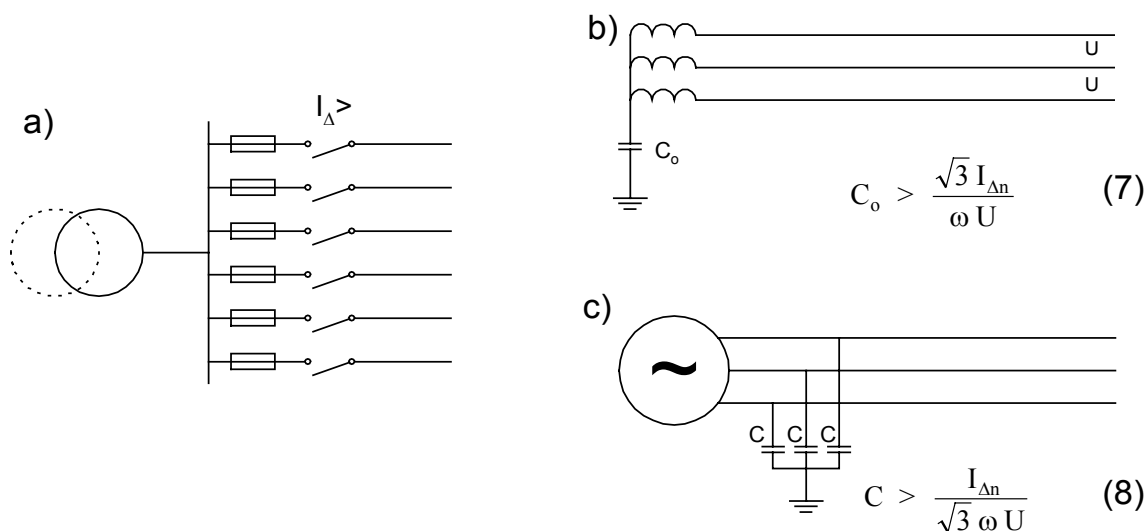
**Przykład 5.** W instalacji z przykładu 2 dodano główny wyłącznik różnicowoprądowy zwłoczny  $I_{\Delta n} = 0,5$  A zainstalowany na początku linii rozdzielczej zasilającej wszystkie wspomniane obwody odbiorcze. Określić wymaganą rezystancję uziemienia wspólnego przewodu ochronnego. Są dwie możliwości:

a) Wyłącznik główny bezpośrednio nie zapewnia ochrony dodatkowej żadnego urządzenia, lecz tylko rezerwuje wyłączniki w obwodach odbiorczych, np. z powodów przedstawionych w rozdz. 3. W takim wypadku wynik  $25 \Omega$  należałoby poprawić na  $50 \Omega$ , a wynik  $83 \Omega$  - utrzymać.

b) Wyłącznik główny nie tylko rezerwuje wyłączniki w obwodach odbiorczych, lecz również zapewnia ochronę dodatkową np. rozdzielnicę o metalowej obudowie, w której mieszczą się zabezpieczenia wspomnianych obwodów odbiorczych. W takim wypadku obydwa wyniki należałoby poprawić na  $50 \Omega$ .

## 6. Samoczynne wyłączenie pierwszego zwarcia doziemnego w układzie IT o małej rozległości

W układzie IT o małej admitancji doziemnej zwarcia doziemnemu towarzyszy prąd za mały do pobudzenia właściwego wyłącznika różnicowoprądowego i/lub wywołujący przypadkowe, niewybiorcze zadziałanie niewłaściwego wyłącznika. Środkiem zaradczym jest pośrednie uziemienie naturalnego lub sztucznego punktu neutralnego układu IT (rys. 3).



Rys. 3. Pośrednie uziemienie robocze w układzie IT dla zapewnienia samoczynnego wyłączenia pierwszego zwarcia doziemnego: a) schemat instalacji; b) układ o dostępnym punkcie neutralnym; b) układ o niedostępnym punkcie neutralnym źródła zasilania ( $\omega$  - pulsacja prądu przemiennego)

## Wnioski

Spośród dziesiątków trudniejszych problemów napotykanym przy praktycznym stosowaniu wyłączników różnicowoprądowych referat przedstawia kilka najczęściej podnoszonych podczas prelekcji i spotkań dyskusyjnych.

Podstawowa norma IEC dotycząca ochrony przeciwporażeniowej w urządzeniach niskonapięciowych [3] nie zajmuje się wieloma aspektami stosowania układów z wyłącznikami różnicowoprądowymi i innych środków ochrony. Źle przetłumaczony jej polski odpowiednik, norma PN-92/E-05009/41, ma więcej mankamentów. Elektryk, napotykający problemy wykraczające poza najprostsze sytuacje uwzględnione w przepisach, musi poszukiwać rozwiązań i zasad wymiarowania systemów ochrony wynikających z elementarnych zasad elektrotechniki oraz ogólnych reguł projektowania instalacji i urządzeń elektrycznych. Kto chciałby w przepisach znaleźć wyraźną odpowiedź na każde z tysięcy pytań, jakie podsuwa życie, będzie odczuwał dyskomfort. Nie wystarcza mu bowiem rozwiązanie, które jest poprawne tylko dlatego, że nie łamie żadnej z zasad przepisowych.

## Literatura

1. Musiał E.: Alternatywa „układ TN czy układ TT” w niskonapięciowej sieci rozdzielczej wspólnej. XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Bezpieczeństwo elektryczne”, Wrocław, 1997. Inst. Energoelekt. Polit. Wroc., SEP Oddz. Wrocław, Materiały konferencyjne, t. I, s. 118-125
2. Musiał E.: Pomiar prądu upływowego instalacji i urządzeń elektrycznych. Ogólnopolski Kurs Techniczno-Szkoleniowy „Pomiary kontrolne w urządzeniach elektroenergetycznych o napięciu znamionowym do 1 kV”. Poznań, 5-6 czerwca oraz 16-17 października 1997. Poznań: EKO-TECH, Inst. Elektroenerg. P. Pozn., SEP Oddz. Pozn. Materiały konferencyjne, s. 1-13
3. IEC Standard 364-4-41: Electrical installations of buildings. Protection against electric shocks
4. Instytut Energetyki. Przepisy budowy urządzeń elektroenergetycznych. Wydawnictwa Przemysłowe WEMA, Warszawa, 1997, s. 171 - 230: Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroenergetyczne niskiego napięcia w zakresie ochrony przeciwporażeniowej. Projekt nowelizacji przepisów

## Dane bibliograficzne

Musiał E.: **Kłopotliwe przypadki stosowania wyłączników różnicowoprądowych**. W: [Materiały] Konferencja Naukowo-Techniczna „Wyłączniki ochronne różnicowoprądowe”, Kraków, 17 września 1998. SEP Oddz. Krakowski. 1998, s. 50-57.